

Tartu Ülikool

Loodus- ja tehnoloogiateaduskond

Ökoloogia- ja Maateaduste Instituut

Geograafia osakond

Bakalaureusetöö loodusgeograafias

## **KUIVENDUSE MÕJU SOO RELJEEFILE**

Lisete Vals

Juhendaja: Marko Kohv, PhD

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2015

## Sisukord

1. Sissejuhatus.....	3
2. Eesti soode üldiseloomustus ja ülevaade .....	4
2.1. Soode kujunemine ja liigitus .....	5
2.2. Soode tähtsus .....	7
2.3. Inimtegevuse mõju Eesti märgaladele .....	7
2.3.1. Põllumajandus.....	8
2.3.2. Metsandus .....	8
2.3.3. Tööstus ja saastamine .....	9
2.3.4. Turbakaevandamine .....	9
3. Uuringualade kirjeldus.....	12
3.1. Kaseraba .....	12
3.2. Laukasoo.....	12
3.3. Umbusi raba.....	14
4. Materjalid ja metoodika .....	15
5. Tulemused ja arutelu.....	19
5.1. Tulemused .....	19
5.1.1. Kaseraba .....	19
5.1.2. Laukasoo .....	20
5.1.3. Umbusi raba .....	22
5.2. Arutelu .....	25
6. Kokkuvõte.....	27
7. Summary .....	29
8. Tänuavaldused.....	31
Kasutatud kirjandus.....	32
Interneti allikad .....	33
Lisad .....	34

## 1. Sissejuhatus

Märgalasid kasutatakse inimeste poolt väga erinevatel eesmärkidel. Tegevused nagu teadustöö, matkamine või marjade korjamine ei avalda soodele suurt mõju, kuid inimtegevus võib põhjustada ka olulisi muutusi soode hüdroloogilises režiimis, turbalasundis ning taimestikis. Hüdroloogilises režiimis toimuvad muutused eelkõige kuivendamise tagajärjel.

Aja jooksul on üha rohkem pööratud tähelepanu soode mitmekesisuse hoidmisele, rabas leiduvate ressursside väärtustamisele ning kaitsele. Sood on oluliseks lüliks globaalses süsinikuringes, kliimaatilises regulatsioonisüsteemis ning on samuti ka puhta vee hoidlad. Sood on aastakümneid olnud inimtegevuse poolt tugevalt mõjutatud ning looduslikke märgalasid on alles jäänud väga vähe. 20. sajandi alguses suurenes tunduvalt turbakaevandamise maht, kuna turvas oli elektrijaamades põhiliseks kütteaineks (Ramst, Orru 2009). Praeguseks on paljud turbakaevandusalad maha jäetud, kuid mõju soo hüdroloogilisele režiimile ning reljeefile kestab edasi.

Eestis ja ka mujal maailmas on uuritud turbakaevandusalade mõju maastiku mitmekesisusele, samuti on uuritud kui kiiresti on võimalik maha jäetud kaevandusala taastaimestada (Triisberg *et al.* 2013; Ramst, Orru 2009). Uurimused on ka läbi viidud kasvuhoonegaaside emissiooni uurimiseks kuivendatud märgaladel (Salm 2012; Salm *et al.* 2012).

Käesoleva töö eesmärgiks on analüüsida kuivenduskraavide mõju looduslikule soo reljeefile. Teada on, et kraavid mõjutavad kaevandusala väljapoole jääva ala hüdroloogiat, kuid kui kaugele see mõju ulatub? Hüpoteesina väidetakse, et kuivenduse mõju on kõige suurem kuivenduskraavi ümbruses ning mõju väheneb kraavist raba keskosa suunas.

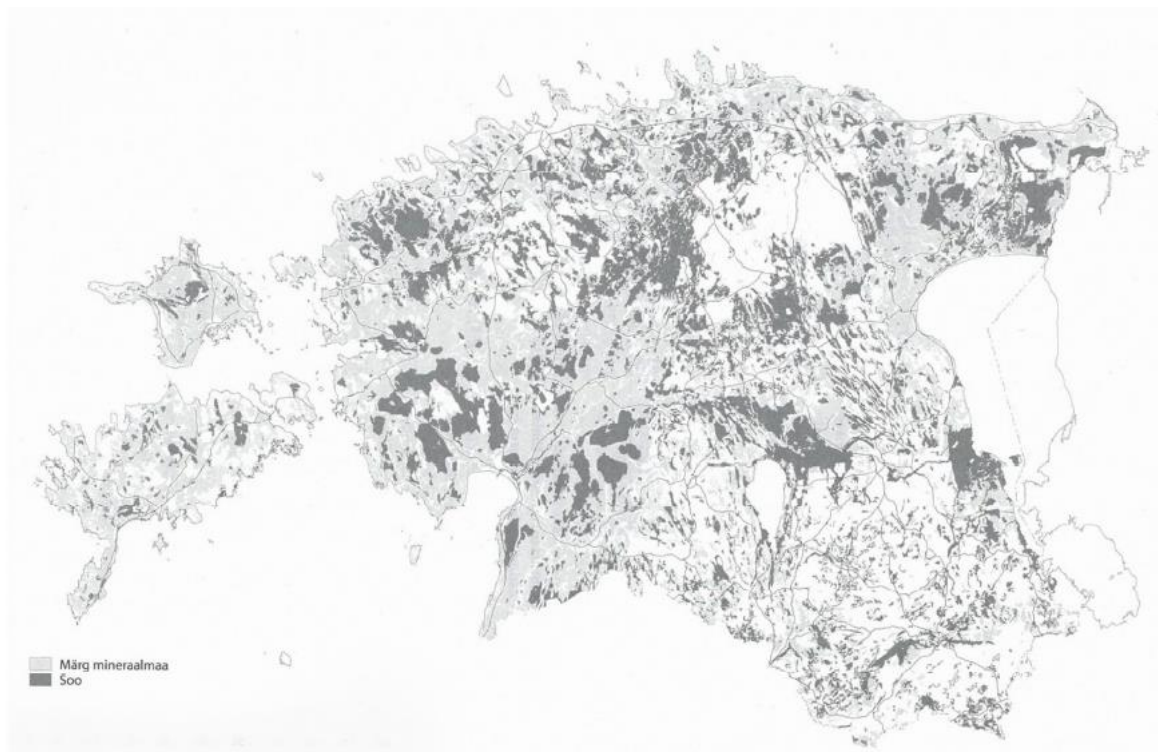
Uurimustöö käigus uuritakse kolme rabamassiivi – Kaseraba, Laukasood ning Umbusi raba. Kahes rabas (Umbusi raba, Laukasoo) paiknevad ka turbakaevandusalad, kus kaevandatakse turvast praeguseni. Tulemuste kontrollimiseks ning võrdluseks võeti lisaks ka looduslikus seisundis turbamaardla Pärnumaal (Kaseraba). Andmed soode kohta saadi Eesti Geoloogiakeskuse turbamaardlate detailuuringu aruannetest ning Maa-ameti LiDAR andmestikust.

## 2. Eesti soode üldiseloomustus ja ülevaade

Soo on osa maastikust, kus alalise veerohkuse ja hapnikuvaeguse tõttu jääb osa orgaanilist ainet mullas lagunemata ning ladestub turbana. Soostunud maa või soo tinglikuks piiriks võetakse 30 cm turbakiht ning selle piiri ületamisel saavad soostunud muldadest soomullad, soostunud maadest sood. (Valk 1988)

Väiksema turbakihi paksusega alasid nimetatakse soostuvateks. Turbaaladeks aga nimetatakse alasid, kus on üle 30 cm paksune turbakiht kuid turbateket enam ei toimu (enamasti kuivenduse tõttu). (Paal, Leibak 2011)

Erinevates allikates on korduvalt mainitud, et sood katavad rohkem kui 20% Eesti pindalast (joonis 1), turbaalade pindala on kokku 1 009 101 ha ehk 22,3% Eesti pindalast (Paal, Leibak 2011). Soode osatähtsus Eestis on arvutatud suuremõõtkavalise (enamasti 1:10 000) muldkattekaardi koostamisel (Arold 2005). See pindala sisaldab endas nii kunagisi soid, kus enam turvast ei teki (turbaalad), kui ka praeguseid turba ladestumisasalasid (sood) (Paal, Leibak 2011). Sood paiknevad reljeefi madalamatel osadel, sisenõgudes, kõrgustike jalamil. Samuti otsamoreenide, rannavallide, ooside ning luidete loodud takistuste taga (Allikvee, Ilomets 1995).



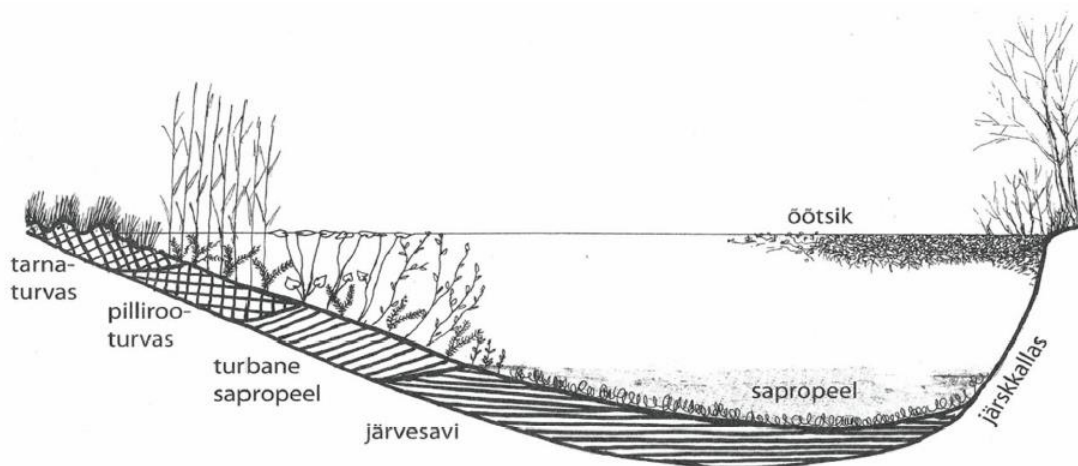
Joonis 1. Soode laialdane levik Eestis (Arold 2005).

## 2.1. Soode kujunemine ja liigitus

Eestis on kaks kõige enam esinevat soostumisprotsessi – sood, mis on tekkinud mineraalmaa soostumise või veekogu kinnikasvamise tagajärjel.

Soode tekkeks on soodsaimad tingimused alade, kus sademete hulk ületab aurumise, ehk muld on püsivalt liigniiske (Allikvee ja Ilomets 1995). Kõige enam sõltub soostumisprotsess kliimast. Eesti territooriumil on kliimaatilised tingimused olnud soode tekkeks soodsad peaaegu kogu jääajajärgsel ajajärgul (Valk 1988). Lisaks kliimaatilistele tingimustele on märgala kujunemisel oluline ka piirkonna geomorfoloogilised asjaolud – maapinna kuju ning kõrgussuhted, samuti ka pinnakatte veeläbilaskvus ning koostis (Arold 2005).

Eestis on levinum soostumisprotsess veekogu soostumine ehk kinnikasvamine, mis algab kas veekogu põhjast või pealt õõtsikuga kattumise teel, kuid kuna järve kinnikasvamist mõjutavad mitmed tegurid, siis võib veekogu kinni kasvada erinevalt - nii põhjast kui ka kallastelt korraga (joonis 2). (Kink jt. 1998; Allikvee ja Ilomets 1995)



Joonis 2. Järve kinnikasvamine (Arold 2005).

Esmalt kattub veekogu põhi mineraalsete setetega – liiva, savi või järvelubja kihiga. Samal ajal algab kinnikasvamine ka veekogu kallastel – veekogu kaldavööndis hakkavad kasvama soo- ja veetaimed. Veekogude soostumist iseloomustab Klinge seadus: madalaveelistes ja lamedakaldalistes järvedes toimub kinnikasvamine tavaliselt kogu kaldavööndil järve põhjast pinna poole, sügavatel ja järskude kallastega veekogudel algab kinnikasvamine õõtsikuna tavaliselt järve tuulevaiksemal kaldal ning veepinnal veekogu põhja poole. (Valk 1988)

Kinnikasvava veekogu kaldavööndis alustavad kasvamist mitmed tarnaliigid koos hariliku konnarohu, jõgi-kõõluslehe, vesi-kirburohu, konnaosja jt. Järve keskosa lähedal kasvavad hundinui ning pilliroog, sügavamas vees kasvab ka järvekõrkjas. Järve keskosas (3-4 meetrises vees) asub ujuvate taimede vöönd, kus kasvavad vesiroosid, vesikupud, mändvetikad jne. Veelgi sügavamal levivad ainult vetikad. Madalamas vees, kus kasvavad tarnad, pilliroog, tekib turvas ning kuna veekihi paksus väheneb, siis tungivad pilliroog ja kõrkjad järjest järve keskosa poole. Aja jooksul kattub kogu järvemuda kiht turbaga. (Valk 1988)

Mineraalmaa soostumisel on olulised pinnamood ning kliima ning enamjaolt soostuvad reljeefi madalamad alad, kuhu koguneb ka vesi (Valk 1988). Vajalik on pidev liigniiskus ning soostumist soodustavad ka vettpidav mullakiht, kõrge maapinnalähedane pinnavesi ning äravoolu puudumine, kuid olulised on ka ala niiskust suurendavad tegurid (jõgede üleujutused, metsa raiumine jne.) (Kink jt. 1998).

Metsaaladel hakkavad metsasammalde asemel levima karu- ja turbasamblad. Karu- ja turbasammaldest tekkinud turvas seob järjest enam sademetevett, mis soodustab niiskuslembese taimkatte levikut. Samuti toimuvad muutused ka metsa liigilises koosseisus – nõudlik kuusk asendub vähemnõudliku männiga. (Valk 1998)

Soode liigitus põhineb soode toitumisel ning taimkattel. Kõige tuntum on kolmikjaotus: madalsood, siirdesood ning kõrgsood ehk rabad. (Arold 2005)

Madalsoode taimed toituvad põhiliselt mineraalaineterikkast põhja-, pinna- või tulvaveest, need sood on minerotroopsed ning neile on iseloomulik niiskuslembeline taimestik. Siirdesoodele on iseloomulikud nii madal- kui ka kõrgsoodele omased elemendid. Esineb nii turbasamblamätaid kuid ka madalsoo kooslusi mättavahelistel aladel. Kõrgsood ehk rabad toituvad ainult sademeteveest ning on seega ombrotroopsed sood. Taimestik on võrreldes madalsooga liigivaesem ning ülekaalus on turbasamblad. (Arold 2005)

Tihti võivad ühe ja sama soo piires esineda nii madalsood, siirdesood kui ka raba (Allikvee ja Ilomets 1995; Arold 2005). Mõnel juhul võib madalsoo või ka siirdesoo taimkate hõlmata kogu rabamassiivi, kuid enamasti võib leida madal- ja siirdesoo alasid raba äärealadel (Valk 1995).

## **2.2. Soode tähtsus**

Arvestuslikult kogu maailma mullas olevast süsinikust ligikaudu kolmandik on ladestunud turbaaladel. Seda on rohkem kui pool praegusest süsihappegaasi varust atmosfääris. Kuna turbaaladel on suur roll maailma süsinikuringes, on aegade jooksul äärmiselt oluliseks muutunud märgalade seire ning kaitse. (Rydin, Jeglum 2006)

Nii looduslikud kui ka kuivendatud sood osalevad globaalses kliimaatilises regulatsioonisüsteemis, kuna turbaalad seovad ning vabastavad kasvuhoonegaase - CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O. (Kimmel 2009)

Sood on ka puhta vee hoidlad, kus vesi talletub turbasambblas, aga ka lahtistes veekogudes – soojärvedes ja laugastes. Samas toimib raba ka vee puhastajana ning ümbruskonna veetaseme reguleerijana. Kuigi soo võib katta valglast väga väikese osa, võib sellel alal olla oluline tähtsus valgla vee ning toitainete tasakaalu hoidmisel. Eesti soodes on säilinud ka mitmed mujal maailmas haruldaseks muutunud looma- ja taimeliigid. (Arold 2005; Kimmel 2009)

Lisaks kõigele eelnevale on sood ka tähtsad kultuurilisest seisukohast, sest märgalasid kasutatakse aktiivselt ka puhkemajanduses ning teadustöös. Soodeist on leitud lagunemata taime- ning loomajäänuseid, mis on aidanud uurida, millised olid minevikus aset leidnud keskkonnatingimused ning kliimamuutused. (Kimmel 2009)

## **2.3. Inimtegevuse mõju Eesti märgaladele**

Projektide „Eesti soode inventeerimine tagamaks nende bioloogilise mitmekesisuse säilimist“ ja „Eesti soode inventeerimise lõpetamine“ tulemuste põhjal katavad sood ca 5% Eesti territooriumist. See tähendab, et umbes 17% Eesti pindalast katavad soostuvad rohumaad ja metsad ning turbaalad. (Paal, Leibak 2011)

Inventuuri andmeid on võimalik võrrelda aastatel 1935-1955 Eesti taimkatte kaardistamise käigus kogutud andmetega. Vähem kui sajandi jooksul on Eesti soode pindala vähenenud umbes 2,7 korda. Kõige suurem muutus on toimunud madalsoode pindalas, mis on vähenenud 7,1 korda. Rabade ehk kõrgsoode pindala on vähenenud 1,7 korda. (Kohv, Salm 2012)

Pindala muutuste põhjuseks on enamjaolt inimene ning muutused veerežiimis on viidud läbi teadlikult. Eestis oli 1980. aastate lõpuks maaparandusvõrguga kaetud 1 006 300 hektarit

(Kohv, Salm 2012). Põhjuseks on vajadus kasutada märgalasid põllumajanduse, turbakaevandamise või metsanduse tarbeks. Kuid kui soo on juba kuivendatud, siis turvast seal enam ei teki ning turvas hakkab lagunema (Ilomets 2003). Toimub turbalasundi tihenemine ning mineraliseerumine, mille kiiruseks on protsessi esimestes etappides 12-15 mm/a (Arold 2005). Mitmete uuringute tulemustest on näha, et mineraliseerumine toimub suures mahus ning hiljem küll aeglustub, kuid ei peatu enne kui kogu turvas on õhku haihtunud (Ilomets 2003).

Süsihappegaasi (CO<sub>2</sub>) kogus atmosfääris on kasvanud alates 19. sajandist, samal ajal alustati ka ulatuslikke kuivendussüsteemide rajamist märgaladele. Eelkõige põllumajanduslikel ning metsanduslikel eesmärkidel. Kuivendamine alandab veetaset ning sügavamates kihtides toimub aeroobne lagunemine, mille tulemusel vabaneb rohkem süsihappegaasi (Rydin, Jeglum 2006). Hetkel kaevandatavate ning juba ammendunud turbaalade CO<sub>2</sub> ja N<sub>2</sub>O emissioon on tunduvalt kõrgem looduslike märgalade kasvuhoonegaaside emissioonist (Salm *et al.* 2012).

### **2.3.1. Põllumajandus**

Juba 17. sajandil sai alguse soode kasutamine põllumajanduslikel eesmärkidel. 19. sajandil võeti laialdaselt kasutusele turbaalade kuivendamine ja põletamine põllumajandusliku maa saamiseks. Järjest rohkem hakati kasutama võimsaid masinaid ning see viis turbaalade kuivendamise laienemiseni. Enamus kuivendamata soodest ümbritseti 1950. aastatel piirdekraavidega ning sellega kahjustati märgatavalt soode ääreosa hüdroloogilist režiimi. (Paal, Leibak 2011)

Eestis on turba juurdekasv peatunud vähemalt 383 000 hektaril põllumajanduslikul maal. Sellel maal oleks potentsiaalselt võinud moodustuda umbes 4 miljonit tonni toorturvast. (Paal, Leibak 2011)

### **2.3.2. Metsandus**

Soode metsastamiseks või seal kasvava metsa tootlikkuse tõstmiseks toimusid esimesed kuivendustööd juba 19. sajandi alguses. Organiseeritumaks muutus kuivendamine 1830.-1840. aastatel. Metsade kasvuks liialt niiskete alade kuivendamine võeti laialdaselt käsile 1950. aastate alguses, kuid juba 1960. aastate lõpul saadi aru, et rabade kuivendamine ei ole



metsanduslikel eesmärkidel majanduslikult tasuv ning selle rahastamine peatati. Kuid sellegi poolest on rabade ümbruses paiknevate metsaalade kuivendamine või ka rabade ümbritsemine piirdekraavidega mõjutanud märgatavalt eelkõige rabasid ümbritsevaid siirdesooribasid. Sellele lisaks on kuivendussüsteemide rajamine või rekonstrueerimine mõjutanud veelgi tugevamini ümbruses olevaid madalsookooslusi. Kuivendatud metsaalade kogupind oli 1990. aastate keskpaigaks umbes 560 000 hektarit. (Paal, Leibak 2011)

Kuivendamise tagajärjel muutub turvas kuivemaks, niiskus väheneb ning hapniku juurdepääs suureneb. Turbakihis toimuvad mitmed bioloogilised muutused. Soome teadlaste poolt läbiviidud uuringu kohaselt märgati metsanduslikul eesmärgil kuivendatud märgaladel erinevatel aegadel kuivendatud rabades kindlaid seaduspärasusi. Muutused on toimunud suuresti turbasambla levikus – see on asendunud metsasammaldega. Metsanduslikuks alaks muutuval märgalal täheldati turbasambla hävinemist 75-25% ulatuses. Juba metsamaaks muundunud alal aga üle 75% ulatuses. (Paavilainen, Päivänen 1995)

### **2.3.3. Tööstus ja saastamine**

Paljud sood on Kirde-Eestis hävinud seoses põlevkivi kaevandamisega. Lahtise kaevandamise puhul eemaldatakse põlevkivini jõudmiseks kogu pinnakate ning seega on hävitatud 2000 hektarit turbaalasid ning igal aastal lisandub umbes 100 hektarit. Samuti on ulatuslikul maa-alal looduslik veerežiim rikutud maa-aluse kaevandamise tõttu. (Paal, Leibak 2011)

Aluselise õhusaaste tagajärjel on soojuselektrijaamade lähikonnas rabavee pH väärtused ja elektrijuhtivus oluliselt kõrgemad kui saasteallikast eemal olevates rabades. Sellega seoses on muutunud ka taimkatte struktuur: sammal- ja soontaimede liigirikkus on märgatavalt kõrgem saasteallikale lähedal asuvates rabades, sest mida tugevamini on raba saastatud, seda arvukamalt kasvab rabakooslustele mitteomaseid liike. (Paal, Leibak 2011)

### **2.3.4. Turbakaevandamine**

Huvi turba kasutamisevõimaluste ning soode kohta on seoses majanduse arengu ning rahvastiku kasvuga järjest suurenenud (Valk 1995).

Eesti üheks tähtsamaks maavaraks peetakse turvast. Turvas on orgaaniline materjal, mis koosneb peamiselt surnud taimsest materjalist. Enamik turbamaterjalist on küll surnud, kuid

seal leidub palju elusorganisme – mikroorganisme, kes lagundavad veel lagundamata taime jäänuseid. (Rydin, Jeglum 2006)

Turvas tekib kõige pindmisemas osas, kus on kõige suurem õhutatavus – rabades kuni 40 cm sügavuseni. Taimede loodud esmasest produktsioonist ladestub turbakihti vaid 10-15%, kuna ülejäänud orgaaniline aine lõhustub lagundamise käigus ning lendub gaasidena või kantakse veega märgalalt välja. Turba juurdekasv varieerub piirkonniti 0,04-2,3 mm aastas. Eesti soodes on aastane juurdekasv keskmiselt 1 mm aastas. (Arold 2005)

Eestis käsitletakse turvast kui taastuvat maavara ning aastaseks kasutusmääraks on kehtestatud 2,652 miljonit tonni (Ramst, Orru 2009). Varu ulatub 1,64 miljardi tonnini, aktiivne varu moodustab 1,12 miljardit tonni (Paal, Leibak 2011). Eestis on turvas pärast põlevkivi ja puitu kütteinena tähtsusest kolmandal kohal (Salm 2012). Erinevates maailma riikides kasutatakse umbes 50% kaevandatud turbast energia tootmiseks, näiteks Iirimaa põletatakse kaevandatavast turbast 90%, Soomes umbes 65% ja Venemaal 33% (Rydin, Jeglum 2006). 18. sajandi lõpus algas turba kaevandamine suuremas mahus ning seda kasutati eelkõige kütteinena mõisates, kuid ka taludes. Turbavõtupaiku oli 19. sajandi keskpaigaks registreeritud rohkem kui 300 (Eesti Turbaliit).

Turba kasutamine suurenes 20. sajandi alguses, kuna turvas oli elektrijaamades põhiliseks kütteineks. Aastatel 1925-1935 võeti puit küttemajanduses laialdasemalt kasutusele ning turba osatähtsus vähenes ning mõne aasta pärast algatati metsaraie pidurdamiseks kütusereform ja turbakütuste osakaalu suurendati. Kuni 20. sajandini toimus kaevandamine käsitsi, kuid hiljem mindi üle mehhaanilisele kaevandamisele ning 1950. aastatel võeti kasutusele freesmeetod. 1980. aastatel oli kaevandamise maht maksimaalne (kuni 2,8 miljonit tonni). Kaevandamise aastane maht pole 1990. aastate algusest ületanud 1,5 miljoni tonni piiri. (Eesti Turbaliit; Ramst, Orru 2009)

Kaevandatavate turbaväljade kogupindala on praegu 20 281 ha. Kaevandamine on lõpetatud umbes 15 000 hektaril. Sellest tulenevalt võib järeldada, et otseselt on turba kaevandamisega hävitatud umbes 30 000 hektarit rabasid ning umbes sama palju on kaevandamise naabrusmõju tagajärjel kaudselt kahjustatud rabasid. Järelikult võib Eestis turbakaevandamise tõttu kuivendatud rabakoosluste pindala ulatuda 50 000- 60 000 hektarini. (Paal, Leibak 2011)

Iga aastaga suureneb kaevandamise tõttu ammendatud ja hüljatud turbaväljade pindala. 2009. aastal lõpetatud märgalade inventeerimise põhjal ulatub nende pindala 9371 hektarini, paaril

järgmisel aastakümnel suureneb see pindala enam kui kaks korda. Ammendatud turbaväljad avaldavad ümbruskonna veerežiimile negatiivset mõju ning need on ka kasvuhoonegaaside allikaks, samuti suurendavad põlengute riski ning vähendavad maastikulist mitmekesisust. Seega on Eestis kaevandamise poolt kahjustatud rabade ja siirdesooade kasvuhooneefekt ligikaudu 10 korda suurem sellest, kui need alad oleksid looduslikus olekus. (Paal, Leibak 2011)

Turbakaevandamine vähendab ka bioloogilist mitmekesisust. Kolmel Eestis asuval ammendunud turbaväljal viidi läbi uurimus, milles jõuti järeldusele, et kaevandamise järgselt on bioloogiline mitmekesisus vähenenud. Jõuti järeldusele, et taastaimestumine on mõjutatud taimestikuga kaetud ala (näiteks metsa) kaugusest (ehk kui kaugel on mets soomassiivist), kuna ammendunud soode piirialadel oli taimeliike ruutmeetril rohkem ning taimeliikide arv vähenes servaalalt keskosa suunas. Samuti mõjutavad taastaimestumist ka turba omadused. Kuna taastaimestumine on küllaltki aeglane protsess, siis on ammendunud turbaalade bioloogilise mitmekesisuse taastamine võimalik, kuid aeganõudev. (Triisberg *et al.* 2013)

### **3. Uuringualade kirjeldus**

Käesoleva töö uurimisobjektideks on kolm raba – Kaseraba Pärnumaal, Laukasoo Tartumaal ning Umbusi raba Jõgevamaal. Laukasoo ning Umbusi raba on turbamaardlad, Kaseraba aga looduslik märgala, kus inimõjutusi on tunduvalt vähem.

#### **3.1. Kaseraba**

Kaseraba asub Pärnumaal, Koonga vallas. Lähimad suuremad asustatud punktid on Irta, Koonga ja Ahaste küla. Uuringuala (712,90 ha) keskpunkti geograafilised koordinaadid on 24°9'40'' idapikkust ja 58°31'40'' põhjalaiust. Uuringu põhiosa moodustab lageraba, kus leidub nii älveid kui ka laukaid. Älved hõlmavad endas ligikaudu 40% soo pindalast. (Orru jt. 1999)

Kaseraba on tekkinud mineraalmaa soostumise tagajärjel, raba äärealadel on turba all moreen, keskosas viirsavid ning rabanõlv pole selgelt välja kujunenud. Raba mikroreljeef on mätlik, need võtavad enda alla üle poole rabapinnast (Kull 2013). Maastikuliselt paikneb Kaseraba Lääne-Eesti madalikul, mis on Eesti tasandikualadel kujunenud aladest kõige suurem ning mitmekesisemate loodusoludega maastikurajoon (Arold, 2005).

Kaseraba turbamaardlal ning selle lähiümbruses ulatub pinnakatte kogupaksus 3-10 meetrini ning seda saab liigestada glatsiaalseteks (moreen) ning Antsülusjärve- ja sooseteteks (saviliiv ja turvas). Turbalasundi paksus on 0,6-6,1 (keskmise paksus 4,2 m). (Orru jt. 1999)

Kaseraba kuivendus pärineb aastast 1967 (Kull 2013). Uuringuala on 0,2-0,6 km kauguselt ümbritsetud kuivenduskraavidega ning nende abil on väljaspool maardlat looduslikku veetaset alandatud 0,5-1,0 m, kuid turbamaardla ise on looduslikus seisundis (Orru jt. 1999).

Kaseraba turbamaardlal tegi Eesti Geoloogiakeskus 1986. aastal uuringuid, mille tulemusena hinnati kogu maardla (1092 ha) varu aktiivseks reservavaruks 4279 tuhat tonni, sellest on vähelagunevat turvast 1016 tuhat tonni (628 ha) ja hästilagunenud turvast 3262 tuhat tonni (1092 ha). (Orru jt. 1999)

#### **3.2. Laukasoo**

Laukasoo asub Tartu maakonna põhjaosas, Tartu linnast 15 km kirde pool. Lähimateks asustatud punktideks on Tammistu (0,5 km) ja Viire (1,5 km).

Laukasool esineb peamiselt rabataimkate. Uuringuala keskosas paikneb aga ulatuslik laugastik, millest osa koos Pähklisaarega võeti 1964. aastal looduskaitse alla. Kaks suuremat laugasjärve on ümbritsetud freesväljakutega ning toimivad hoopis tuletõrje veevõtukohtadena. (Ramst jt. 1992)

Juba 1959. aastal uuriti esimest korda Laukasoo turbavarusid ning turbalasundi nullkontuuri pindalaks saadi 1400 ha ning tööstusliku paksusega lasundi osa pindalaks 1200 ha. 1992. aastal mõõdetult on turbamaardla nullkontuuri pindalaga 1528 ha, tööstusliku paksusega turbalasund esineb 1050 hektaril, alusturbalasund 906 hektaril. 1950. aastatel alustasid ümbruskonna kolhoosid freesturvast tootmist. 1.01.1992. aasta seisuga on Laukasoo aktiivne reservvaru 4099 tuhat tonni, sellest alusturvast 918 tuhat tonni. (Ramst jt. 1992)

Laukasoo turbakaevandusala asub Kesk-Devoni platoo Aruküla lademe avamuslal. Praegune pinnamood on maardla piirkonnas kujunenud pleistotseenis liustiku ja jääsulavete kulutava ja kuhjava tegevuse tulemusel. Maardlal paiknevad mineraalsaared kujutavad endas moreenkünkaid. Laukasoo on tekkinud pärast jääpaisjärve taandumist, kui reljeefi nõgusamatesse kohtadesse tekkisid veekogud ning hiljem need soostusid. Uuringuala on kuppeljas, äärealade suunas madalduv sootasandik. (Ramst jt. 1992)

Maardla koosneb kahest rabakoldest, mida eraldab ligikaudu 1 km pikkune põhja-lõuna suunaline mineraalmaasaar (Ristisaar). Tööstusliku paksusega lasundiosa pindala on 1050 ha ning turbalasundi keskmine paksus on 2,81 m, alusturbakiht esineb 906 hektaril ning keskmiseks paksuseks on 1,55 m. (Ramst jt. 1992)

Nii looduslik kui ka tööstuslik turbalasund koosneb põhiliselt vähelagunenud, väikese tuhasuse ja kõrge veesisaldusega rabaturbast. Madalsoolasundi aladel on turba keskmine lagunemisaste unduvalt kõrgem, tuhasus mõnevõrra kõrgem ning looduslik niiskus väiksem. Uuringute kohaselt sobib Laukasoo turbalasundi pealmine vähelagunenud turvasest koosnev kiht alusturba ning alumine hästilagunenud turvasest osa väetus- ja kütteturba tootmiseks.

Laukasoo aktiivne tarbavaru on 107 tuhat tonni (sellest alusturvast 38 tuhat tonni), passivne tarbevaru 26 tuhat tonni. Turbatootmisala (198,5 ha) aktiivne turbavaru on 961 tuhat tonni. Alusturvast on alal 353 tuhat tonni, keskmiselt 1,4 m paksuse kihina.

### 3.3. Umbusi raba

Umbusi turbamaardla asub Võrtsjärve nõo põhjaosas, raba on kujunenud järve ja jõelammi soostumisel. Uuringuala pind on lauge, madaldudes äärealade suunas ning ala põhjaosas paikneb freesturba tootmisväljak. (Salo 1990)

Umbusi raba transekti alguseks võetud kuivenduskraav rajati 1966. aastal ning samal ajal alustati ka turbakaevandamisega, kuid praeguste põhiliste kuivenduskraavide ning eesvoolude rajamine leidis aset 1964. aastal. 1935.-1939. aastani toimus raba põhjaosas väikses mahus käsitsi kaevandamine. (Kull 2013)

Umbusi maardla geoloogilise läbilõike moodustavad Alam-Siluri Adavere lademe ning Kesk-Devoni Narva lademe kivimid, mis on kaetud kvaternaari setetega (Salo 1990).

Uuringu *Jõgeva rajooni Umbusi turbamaardla kirdeosa detailuuringu aruanne* (Salo 1990) käigus leiti turba all ulatuslikult järvelubjakihti. Uuringuala nullkontuuri pindala on 353 ha, millest 278 ha ehk 79% moodustab tööstuslasundi. Kõige enam leidub rabasegalasundit 127 hektaril, mille moodustavad rabaturbad. Lasundi keskmine paksus on 4,23 m. Rabasegalasund ümbritseb rabalasundit, mille ülemise osa moodustavad vähelagunenud rabaturbad. Turba keskmine paksus on 6,92 m. Kogu uuringualal on turba keskmine paksus 4,86 m – alusturba paksus 2,46 m ja kütte- ning väetusturba 2,77 m.

Turbaliikidest domineerivad rabaturbad, nendest kõige enam on esindatud fuskumiturvas. Kogu uuringualal oleva turba keskmine lagunemisaste on ligikaudu 26%. Turba looduslik niiskus on keskmiselt 91,6%. (Salo 1990)

#### 4. Materjalid ja metoodika

Käesoleva uurimustöö koostamisel on kasutatud Eesti Geoloogiakeskuse Maavarade osakonna poolt 1999. aastal koostatud aruannet *Pärnu maakonna Koonga valla Kaseraba turbamaardla geoloogilise uuringu aruanne* (Oru jt. 1999), Eesti Geoloogiakeskuse Turbauuringu osakonna koostatud aruanne *Tartu Laukasoo turbamaardla detailuuringu aruanne* (Ramst 1992) ning Eesti Geoloogiakeskuse Turba geoloogilise uuringu töökonna koostatud *Jõgeva rajooni Umbusi turbamaardla kirdeosa detailuuringu aruanne* (Salo 1990).

Andmete töötlemisel kasutati programmi *MapInfo Professional 11.0* ning programmi liidest *Vertical Mapper 3.7*. Esmalt lisati Eesti Põhikaardile aruannetest saadud vajalikud mõõdistustulemused ehk raba pinna absoluutkõrgus. Kuna käesoleva töö raames pöörati tähelepanu kuivendamise mõjule väljaspool turbakaevandusala, siis kasutati vaid kaevandusalast välja jäävaid mõõdistusi.

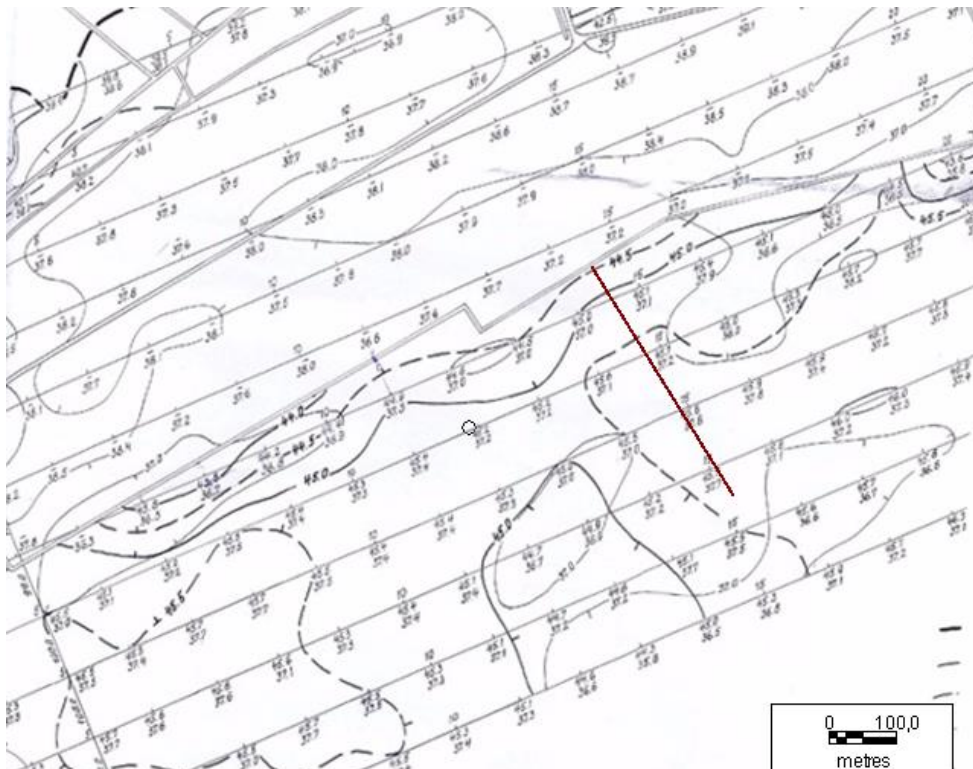
Rabapinna mõõdistused on läbi viidud transektidel ning seega on andmeid vähe, kuna mõõdistused on tehtud ligikaudu iga 100 meetri järel ( $100\text{ m}^2 - 1$  mõõdistus).

Selleks, et näidata erinevusi soo reljeefis, viidi läbi võrdlus Eesti Geoloogiakeskuse andmete ning LiDARi andmete vahel. Aerolaserskaneerimise tulemusena on terve Eesti territoorium kaetud ühtlaselt LiDAR-punktidega ning mõõdistused on teostatud LiDAR (*Light Detection And Ranging*) seadmega ALS50-II (Maa-amet 2015).

Mõõdistuslennud toimusid 2400 meetri kõrgusel (tiheasustusega aladel 1300-1500 m kõrgusel) aastatel 2008 – 2011 ning keskmine kõrguspunkti tihedus on 0,45 punkti ruutmeetri kohta, maksimaalne punktide vahe kuni 2,6 meetrit ning arvutuslik punkti kõrguslik täpsus on vahemikus 0,07-0,12 meetrit. Laserpunkti läbimõõt maapinnal on 54 cm. Ühel ruutkilomeetril on kuni 1,4 miljonit kõrguspunkti. Laserpunktide asukoht on arvutatud L-EST97-süsteemis, punkti kõrgused on arvutatud BK77 süsteemi kasutades geoidi mudelit EST-GEOID2011. (Maa-amet 2015)

Profiili koostamiseks joonestati kaardi pinnale sirge. Sirge joonestati kaardile kuivenduskraaviga risti. Sellisel viisil jäi sirgele vaid mõned kõrguspunktid (joonis 3), kuna mõõdistused on teostatud iga 100 meetri järel.

Umbusi raba ning Laukasoo puhul joonestati sirge kuivenduskraaviga risti, kuid Kaserabas kuivenduskraave soomassiivile rajatud pole. Selleks joonestati raba keskossa mõtteline transekt, see võeti profiili nullpunktiks. Transektile joonestati ristisuunaline sirge, mille alusel koostati hiljem maapinnaprofiil.



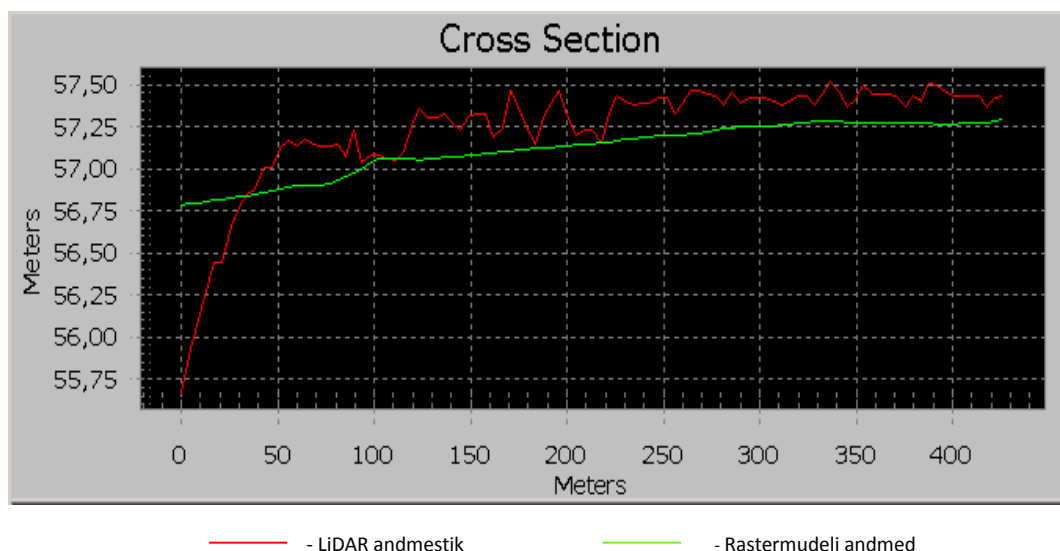
Joonis 3. Joonestatud sirge profiili koostamiseks (Umbusi raba). (Alus: Salo 1990)

Eesti Geoloogiakeskuse aruannetest saadud kõrgusandmed on saadud tahhümeetrilise mõõdistamise teel. Mõõtmisviisi põhimõte seisneb selles, et korraga määratakse trigonomeetriliste seoste abil punkti plaaniline asend ja kõrgus. Sellist mõõteviisi saab kasutada vaid siis, kui on teada punkti ja mõõteinstrumendi vahekaugus, instrumendi asukoha maastikupunktiga ühendava joone suund, maastikupunkti kõrguskasv pikksilma pöörastelje suhtes. Kaugus määratakse kaugusmõõturiga, suund saadakse horisontaalringilt ning kõrguskasvu on võimalik arvutada maapinna kaldenurga ja kauguse kaudu. Mõõdistamiseks on vajalikud jaamapunktid. Järjestikuste mõõtepunktide vahel peab olema hea nähtavus. Tahhümeetriline mõõdistus annab operatiivse info juba välitöö käigus. (Salo 1990)



Andmete võrdlemiseks kasutati programmi *Vertical Mapper*, millega koostati aruannetest saadud punktidest rabapinna kaart. Pind koostati interpoleerimismeetodi *Inverse Distance Weighting*, kus andmepunktide vahele jäävad väärtused interpoleeritakse olemasolevate väärtuste kaalutud keskmise abil. Interpoleerimise teel loodi GRID ehk rastermudel.

Loodud rastermudelit ning LiDAR andmeid võrreldi ning pinnaprofiilid koostati varem joonestatud sirgele, kuid olulisi järeltõlge selle võrdluse põhjal teha ei saanud (joonis 4). Rastermudeli andmepunktid on keskmiste väärtuste järgi arvutatud ning seega ka üsna sirgjoonelised. LiDAR andmestik on aga põhjalikum ning graafikus on näha reaalsemat pinnaprofiili.

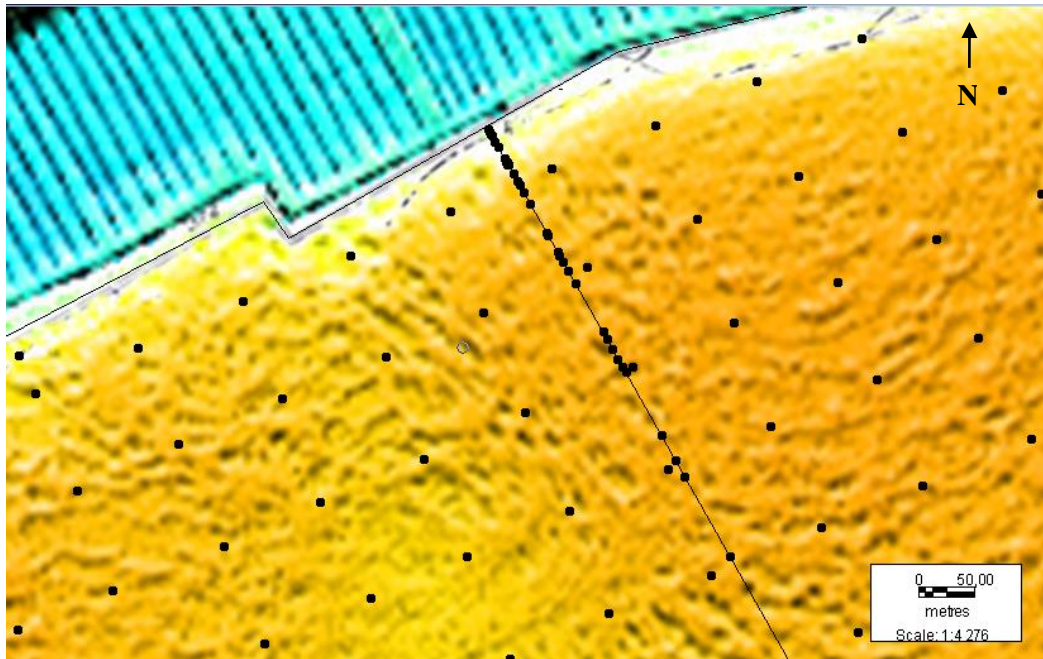


Joonis 4. Rastermudeli ning LiDAR andmestiku võrdlus Laukasoo näitel.

Andmetiheduse erinevuse tõttu otsustati teha virtuaalne pinnaprofiil. Eeldusel, et soo pind on kogu uuritava ala ulatuses samasugune (v.a. äärealad) ehk uuritava lõigu ulatuses on kuivendus läbi viidud samaaegselt ning turbalasundi paksus on uuritaval alal ühtlaselt tüse (kõikumine +/- 0,5 meetrit). Kolmel uuritaval alal on need tingimused täidetud.

Virtuaalse pinnaprofiili koostamisel arvutati sirgele virtuaalsed kõrguspunktid (joonis 5). Selleks valitakse uuritaval alal asuvalt transektilt mõõdistatud punkt ning mõõdetakse punkti kaugus kuivenduskraavist. Samale kaugusele kraavist joonestatakse punkt ka sirgele. LiDAR andmestikust saadi nii transektil oleva punkti kui ka sirgele joonestatud punkti absoluutsed

kõrgused. Samuti transektil oleva punkti absoluutse kõrguse 1990. aastatel koostatud aruannetest. Sirgele joonistatud punktil 1990. aastatel teostatud mõõdistus puudus ning see tuli olemasolevate andmete põhjal arvutada. Selleks liideti (või lahutati) käsitsi mõõdetud andmete ning LiDAR andmete kõrguste vahe sirgel olevale LiDAR andmestikus olevale kõrgusele. Saadi sirgele joonestatud punkti arvutatud absoluutne kõrgus (tuletati punkti absoluutne kõrgus 1990. aastatel).



Joonis 5. Pinnaprofiili moodustamiseks arvutatud punktid sirgel (Umbusi raba). (Alus: Maaamet 2015)

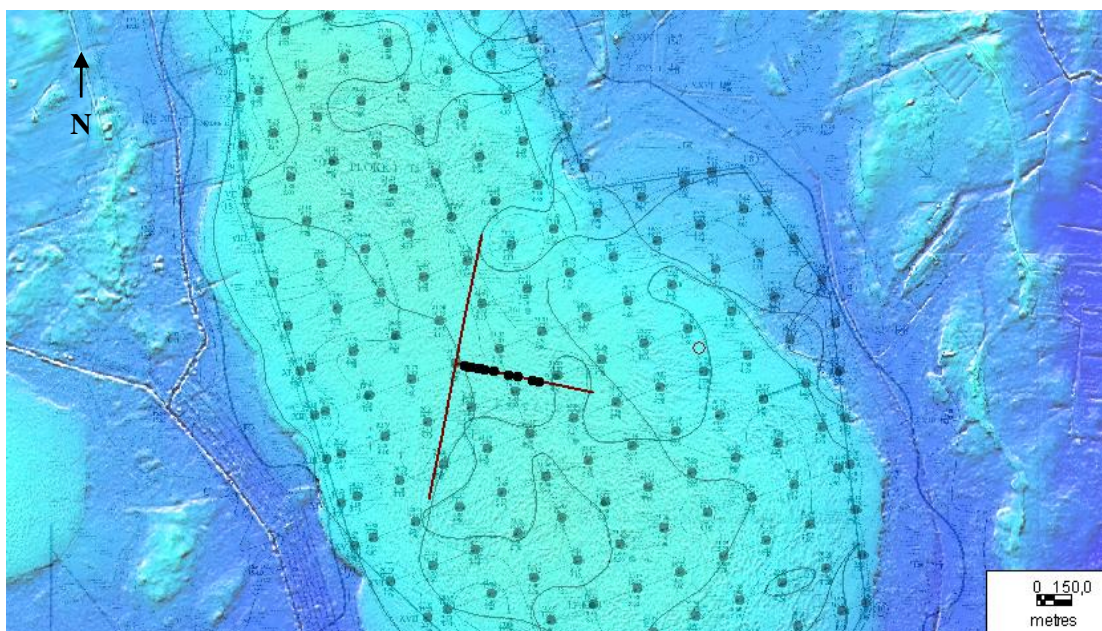
Teine võrdlus koostati *Microsoft Excel*'is. LiDAR'i andmestik eksporditi tekstifaili ning hiljem *Exceli* tabelisse. Geoloogiakeskuse aruannete andmestiku põhjal arvutatud kõrguspunktid lisati tabelisse käsitsi ning olemasolevate andmete põhjal koostati pinnaprofiilid.

## 5. Tulemused ja arutelu

### 5.1. Tulemused

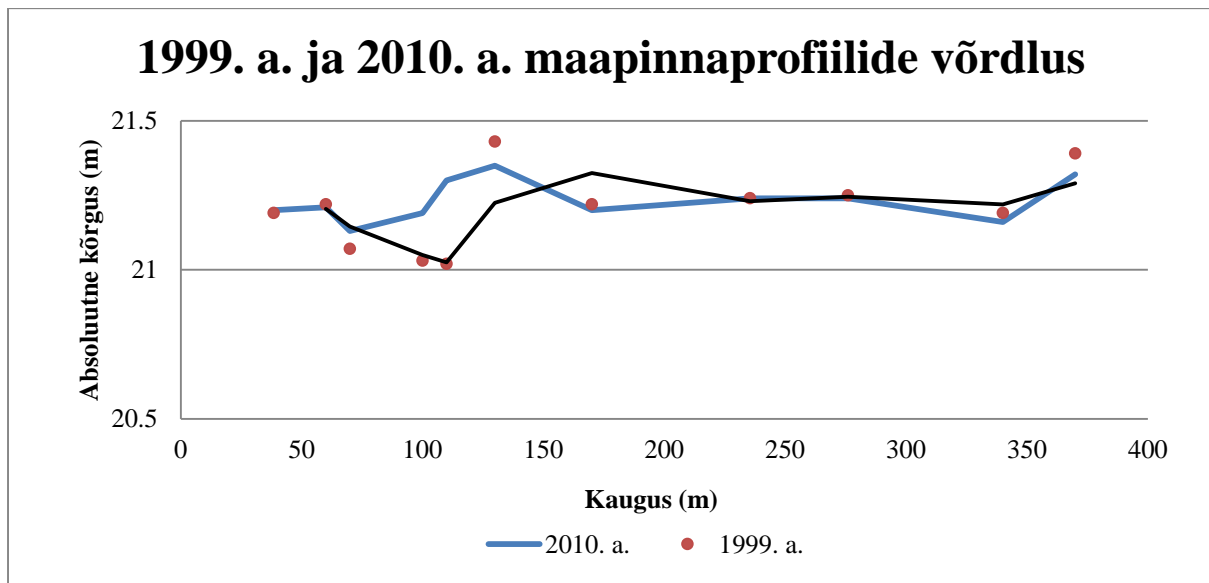
#### 5.1.1. Kaseraba

Kuna Kaseraba on looduslik turbamaardla ning kuivendatud on ta vaid rabamassiivi servaalast 0,2- 0,6 km kaugusel oleva ühekordse kraavi abil, mis soole erilist mõju ei avalda. Loodusliku reljeefi muutuste uurimiseks tuli joonestada mõtteline transekt raba keskossa ning sellega ristisuunas loodi pinnaprofiili loomiseks vajalik sirge (joonis 6).



Joonis 6. Kaseraba mõtteline transekt ning pinnaprofiili punktid sirgel.

Laukasoo ning Umbusi raba puhul arvutati profiilipunktide saamiseks kõrgused lähiümbruses asuvate punktide ning LiDAR andmete abil ning töömeetodi kontrollimiseks valiti kolmandaks uuringualaks looduslikus seisundis turbamaardla. Kuna käesoleva uurimustöö eesmärgiks on uurida kuivenduse mõju soo reljeefile, siis Kaseraba näitel on võimalik teada saada, kas 11 aasta möödudes (käsitsi mõõdistatud 1999.a) on toimunud looduslikus olekus oleva raba reljeefis märkimisväärsed muutusi.



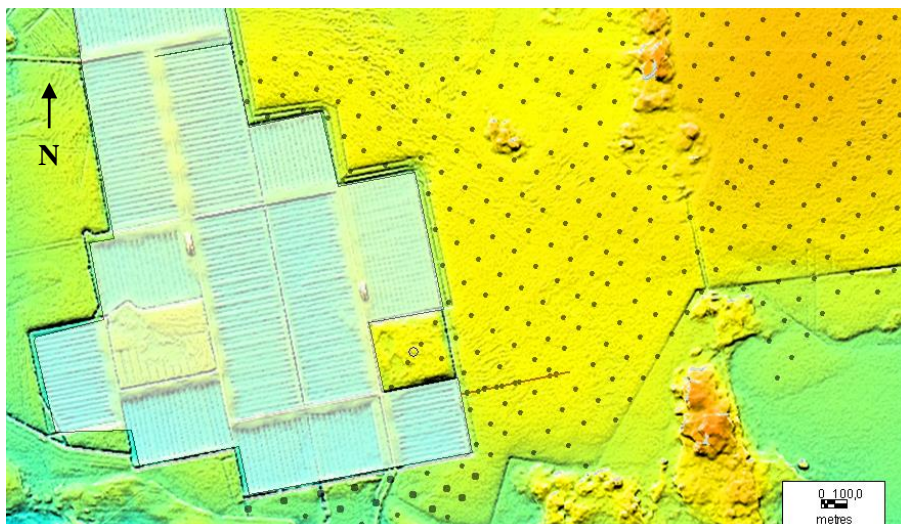
Joonis 7. 1999. aasta ja 2010. aasta maapinnaprofiilide võrdlus Kaserabas.

Kaseraba näitel on näha, et nii lühikese aja jooksul loodusliku raba reljeef ei muutu (joonis 7). Kõige suuremad erinevused 1999. aasta mõõtetulemuste ning LiDAR andmete vahel jäävad alla 30 sentimeetri (110,0 meetrit kujutlevast transektist LiDAR andmed – 21,30 m ning 1999. aasta mõõdistus – 21,02 m). Profiili lõikes erinevad mõõtmistulemused 0,1-0,28 meetri ulatuses. Ka need erinevused võivad tuleneda erinevatest mõõteviisidest ning mõõtmisvigadest. Ehk tõestati, et looduslikus rabas märkimisväärsed muutusi reljeefis lühikese aja jooksul ei toimu ning reljeefi mõjutab eelkõige kuivendamine.

### 5.1.2. Laukasoo

Laukasoo puhul osutus profiili koostamine keerukaks, kuna raba pind pole looduslikult tasane. Maardla koosneb kahest rabakoldest, mida eraldab põhja-lõuna suunaline mineraalmaasaar (Ramst jt. 1992). Samuti on turbakaevandusala ümber rajatud täiendavaid mitmekordseid kuivenduskraave ehk kuivenduse mõju ei saa olla samasugune kolme paralleelse kraavi ning üksiku kuivenduskraavi puhul. Seega oli võimalik profiil koostada vaid ühes piirkonnas (joonis 8).

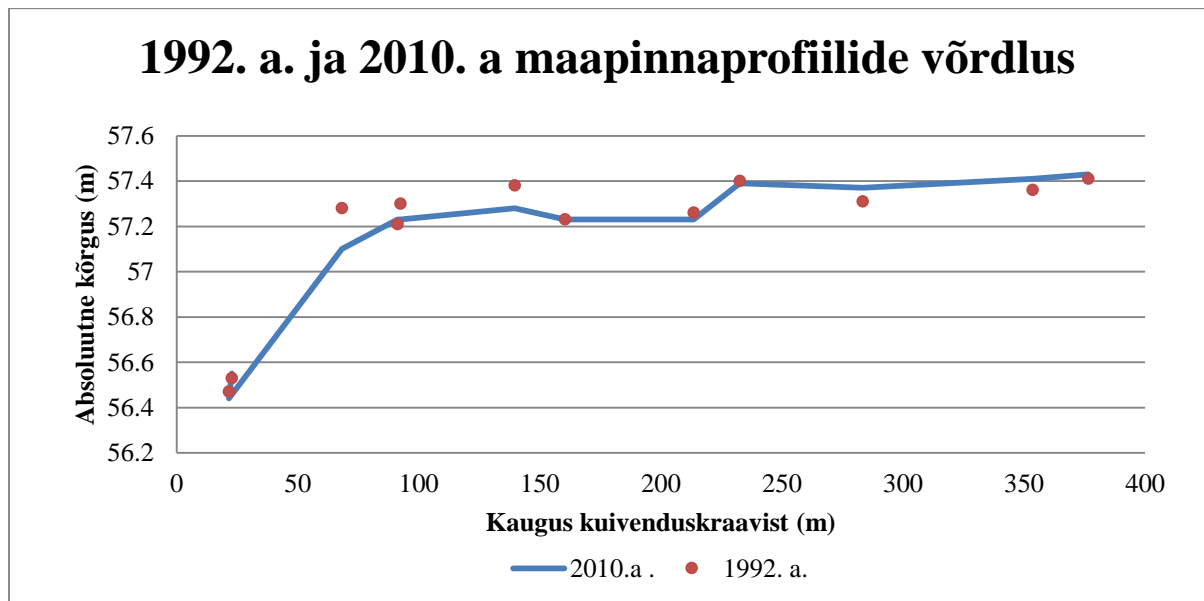




Joonis 8. Laukasoo pinnaprofiili punktid sirgel.

2010. aasta ning 1992. aastal mõõdistatud tulemuste põhjal võib öelda, et aja jooksul on toimunud soo reljeefi muutused (joonis 9). Suured reljeefi muutused graafikul võivad olla ka mõõdistusvead, kuna 1992. aastal läbi viidud mõõtmised käsitsi ning aerolaserskaneerimise teel (kõrguslik täpsus on vahemikus 0,07-0,12 meetrit). Samuti võivad mõõtmistulemusi mõjutada mitmed muud tegurid.

Graafikul on näha, et mõõtmistulemused kattuvad uuritava lõigu keskpäigas, järelkult kraavist umbes 150 meetri kaugusele kuivendamise mõju enam ei ulatu. Kraavi läheduses on mõju selgesti väljenduv, kuna 1992. a. läbi viidud mõõdistamisel on kraavist raba keskosa poole liikudes turbakiht olnud tüsedam. Sellest võime järeldada, et toimub turba tihenemine ning mineraliseerumine. Kuivenduse mõju ulatub kraavist kuni 150 meetri kaugusele.



Joonis 9. 1992. aasta ning 2010. aasta maapinnaprofiili võrdlus Laukasoos.

Mõjutatud alal on pindmine turbakiht kokku vajunud 150 meetri ulatuses (kraavist ristisuunaline joonestatud sirge) kraavist ristisuunaliselt raba keskosa poole suundudes. LiDAR andmestikust saadud kõrgusandmete ning 1992. a. mõõdistuste põhjal arvutatud pinnaprofiili kõrguspunktide vahe varieerub 0,03-0,18 meetrini. Kuivenduse mõju on küll näha, kuid pole võimalik eristada kahte selget maapinnaprofiili, kuna kraavi lähiümbruses pole tehtud piisavalt palju mõõdistusi. 1992. a. pole mõõdistusandmeid just kraavist 21,50-68,20 meetri kaugusel. Käesoleva uurimustöö kõige rohkem huvi pakkuvamas piirkonnas mõõdistused puudusid.

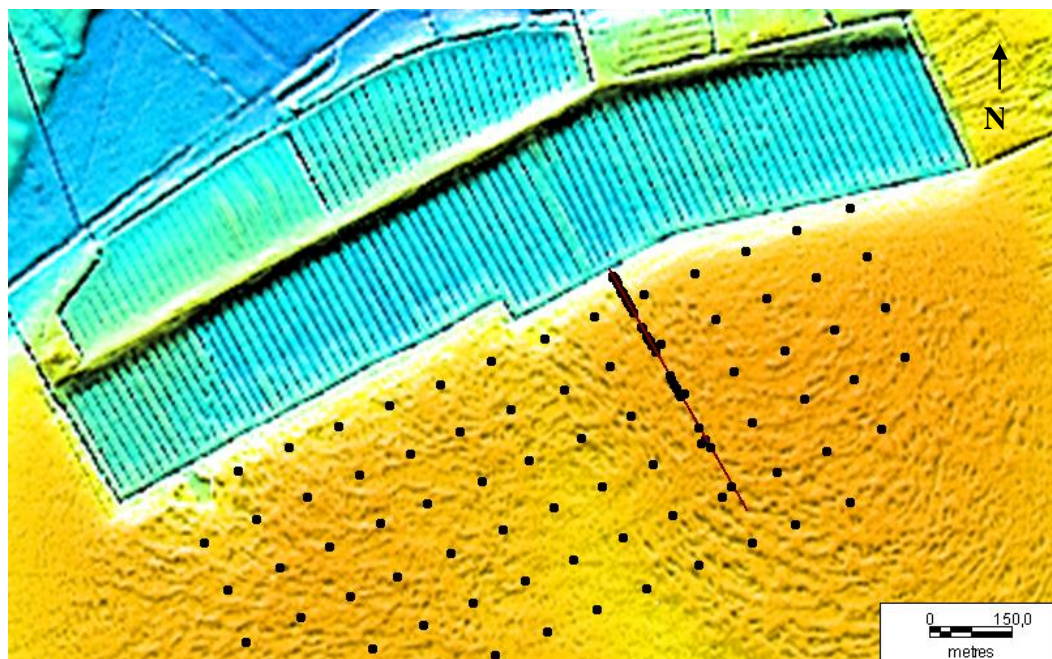
Soopinna alanemine on toimunud küllaltki intensiivselt, kuna rajatud kuivenduskraav ulatub läbi turbalasundi mineraalpinnani ning täiendavaks kuivenduseks on rajatud ka 20 meetri kaugusel (raba pool) madal (0,5 m sügav) akrotelmi ehk raba pindmist kihti läbiv lisakraav. Kuna mõlemad freesturbaväljas on küllaltki noored ning mineraliseerumine on kestnud lühikest aega, siis on muutused raba reljeefis hästi avalduvad. (Kull 2013)

### 5.1.3. Umbusi raba

Umbusi raba pinnaprofiili koostamisel tuli arvestada kuivenduskraavide omapäraga, kuna rabamassiivi poole jääv kraav pole rajatud sirgjooneliselt. Profiili koostamiseks vajaliku sirge joonestamisel tuli jälgida, et sirge paikneks kraaviga risti (joonis 10), kuna hüpoteesiks on

püstitatud väide, et kuivenduse mõju on kõige suurem kraavi lähedal ning mõju väheneb kraavist raba keskosa poole.

Võimalikult kiire ning tõhusa turbavälja kuivendamise saavutamiseks on Umbusi kaevandusala piiratud topelt kraavidega ning see omakorda avaldab rabapinnale tugevat mõju (Kull 2012).

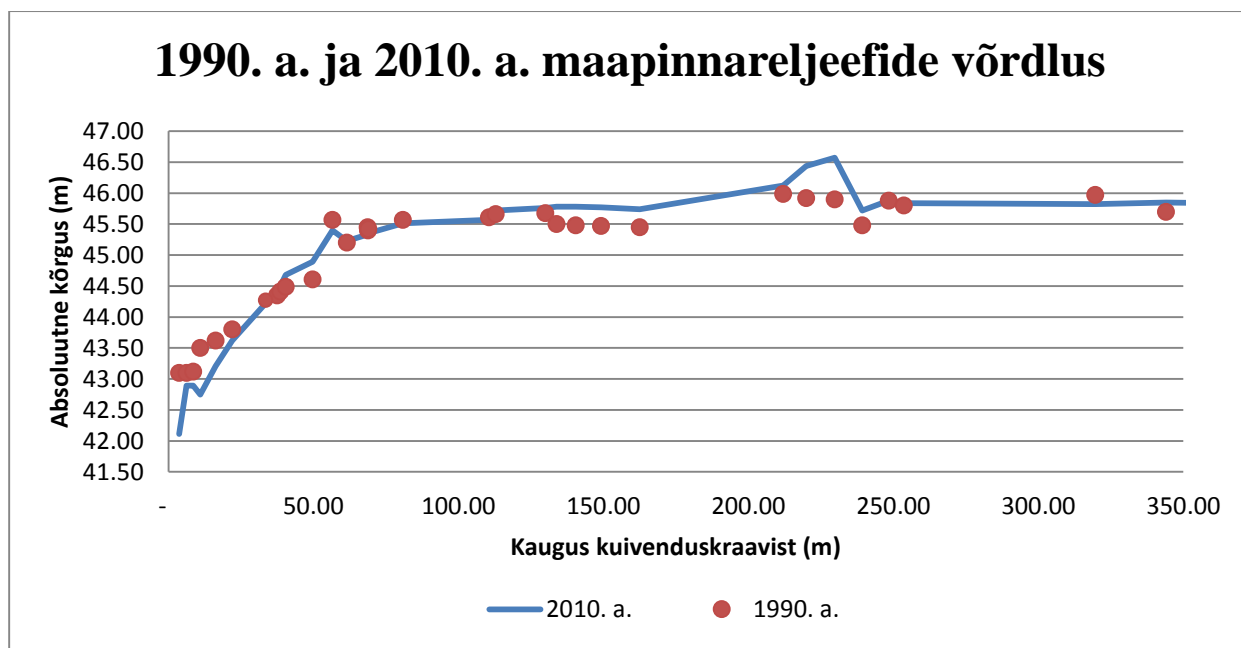


Joonis 10. Umbusi raba pinnaprofiili punktid sirgel.

Umbusi raba puhul on kraavi lähedal selgelt välja kujunenud kuivenduse mõju tubaalast väljapoole jäävale alale. LiDAR andmestikust saadud rabapinna absoluutne kõrgus on kraavi lähedal tunduvalt väiksem kui 1990. aastal mõõdistuste põhjal arvutatud profiili absoluutne kõrgus. Seega turba mineraliseerumine ning tihenemine on suurel määral toimunud just kraavist kuni 40 meetrini (joonis 11).

Raba pind on üldiselt küllaltki tasane, kuid tuleb ette ka looduslikule kõrgsoole iseloomulikke kupleid, kuid nad ulatuvad üle soo pinna keskmiselt kuni 50 sentimeetrini. Graafikul vaadeldavad soo pinnaprofiilide erinevused võivad tuleneda ka erinevast mõõtmisviisidest ning mõõtmisvigadest. Üldiselt uuritava raba pinnaprofiilid kattuvad, ka mõningad suuremad kõrgusemuutused (näiteks kraavist 56,60 meetri kaugusel olev punkt).

Samuti toetab väidet, et kraavi läheduses on toimunud märkimisväärne turbakihi mineraliseerumine, uuring Umbusi rabas. Uuringus selgus, et mineraliseerumise ning kuivaine sisalduse suurenemise tõttu on turba pindmises kihis tõusnud süsiniku-lämmastiku (C/N) suhe. Tugevalt mõjutatud ala ulatuseks hinnatakse vähemalt 100 meetri laiust ala kuivenduskraavist raba keskosa suunal. Veetaseme mõõdistamisel automaatpiesomeetriga selgus, et kõige madalamad on veetasemed kraavi lähedal. (Kull 2012)



Joonis 11. 1990. aasta ning 2010. aasta maapinnaprofiili võrdlus Umbusi rabas.

Mõjutatud alal on pindmine turbakiht kokku vajunud enim kraavile kõige lähemal mõõdetud punktis (3,7 meetrit kraavist), kõrgusandmete võrdlemisel on näha, et LiDAR andmestikust andmete põhjal on punkti absoluutne kõrgus 42,11 m ning 1990. a. andmete põhjal arvutatud punkti kõrgus 43,10 m. Kõrguste vahe on ligikaudu 1m. Kuivenduse mõju ulatub 110,5 meetrini ning selles vahemikus on turbakiht kokku vajunud 0,75 – 0,02 meetri ulatuses.

Graafikult vaadeldavate pinnaprofiilide põhjal saab väita, et rabapinna muutused on märgatavad kraavist kuni 100 meetrini. Kuivenduskraav avaldab kõige rohkem mõju just enda lähiümbruses.



## 5.2. Arutelu

Kolme raba (Laukasoo, Umbusi raba ja Kasesoo) näitel on võimalik väita, et kuivenduskraavide rajamine avaldab reljeefile tugevat mõju. Selle tulemusena toimub pindmise turbakihi tihenemine ning mineraliseerumine. Kuivenduskraavi mõju on eriti selgelt näha kraavist raba keskosa poole liikudes.

Võrdlusmeetodi ning väite, et looduslikus soos turbakihi tihenemist ei toimu, kontrollimiseks lisati uuringualade hulka ka Kaseraba. Erinevalt Laukasoo ja Umbusi rabast polnud võimalik siin sirget kuivenduskraaviga risti joonestada (kuivenduskraav on rajatud ümber raba) ning kuivenduskraavi läheduses mõõtmisi teostatud pole. Samuti on teada, et kraav pole turbamaardlale märkimisväärset mõju avaldanud. Sirge joonestamiseks loodi mõtteline transekt raba keskosas, see võeti n.ö. mõõtmisirsiks väärtusega 0 (sellest mõõdeti punktide kaugused).

Kuna Kaseraba 1999. aasta ning 2010. aasta maapinnaprofiilide võrdlus tõestas, et „virtuaalse pinnaprofiili“ meetod on reljeefi muutuste uurimiseks sobilik, kuna Kaseraba pinnaprofiilid enamjaolt ühtisid. Kaseraba, Laukasoo ning Umbusi raba profiile omavahel võrreldes on näha, et 1990. aasta ning 2010. aasta maapinnaprofiilide erinevus on selgesti nähtav Laukasoo ja Umbusi rabas. Kaseraba pinnaprofiilide analüüsimisel märgatavat erinevust ei leitud.

Laukasoo puhul on tegemist keeruka pinnareljeefiga. Rabapind on jagunenud kaheks rabakoldeks ning nende vahel paikneb mineraalmaasaar. Seega pole pinnareljeef tasane nagu enamike rabade puhul, v.a. kuni 50 cm kõrgused rabakuplid. Samuti muutis raba pinnaprofiili koostamise keerukaks mitmekordsete kuivenduskraavide olemasolu (kaevandusala ühte serva on rajatud kolmekordne kuivenduskraavide süsteem). Kuna käesoleva töö raames uuriti kuni kahekordsete kraavide mõju raba pinnareljeefile, siis pinnaprofiiliks vajaminevate punktide arvutamiseks oli 1992. aastal kogutud kõrgusandmeid uuritava piirkonna kohta küllaltki vähe (LiDAR andmestikul suur andmetihedus).

Kõrguspunktide vähesuse tõttu oli võimalik joonestatud sirgele arvutada vaid piiratud arv kõrguspunkte. Sellegi poolest on graafikult (joonis 9) võimalik välja lugeda kuivenduse märgatav mõju reljeefile. Käesoleva töö raames teostatud arvutuste põhjal on võimalik väita, et kraavide mõju Laukasoo ulatub kuni 150 meetri kaugusele kuivenduskraavist ristisuunal raba keskosa poole liikudes.

Umbusi raba puhul on tegemist samuti kahe suure rabakupliga ning nende vahel paikneb soonik. Kuid mõõdistustulemused 1990. aastast on tunduvalt rohkem kui Laukasoo puhul. Pinnaprofiili moodustamiseks vajaminevaid kõrguspunkte oli võimalik arvutada suuremal hulgal. Seega on pinnaprofiil ka täpsem. Umbusi raba pinnaprofiilide (joonis 11) põhjal saab väita, et kuivenduskraavide mõju ulatub kraavist ristisuunal raba keskosa poole liikudes kuni 110 meetrini. Sellel profiililõigul on selgesti eristatavad kaks erinevatel aegadel mõõdistatud rabapinna reljeefi ning toimunud on tugev turbakihi tihenemine ning mineraliseerumine.

Kui võrrelda Umbusi raba ning Laukasoo raba maapinnaprofiile, siis on näha, et enamjaolt need erinevad üksteisest. Üheks erinevuseks on kindlasti raba absoluutne kõrgus. Umbusi rabas jääb see vahemikku 42,11-46,57 meetrit, Laukasoo aga 56,53-57,41 meetrit. Mõlemal rabal on turbakiht küllaltki tüse, Umbusi rabas ligi 8 meetrit ning Laukasoo 6 meetrit (Salo 1990; Ramst jt. 1992). Erinevuse võib tuleneda ka turbalasundi paksusest, kuna Umbusi rabas on ligikaudu 2 meetrit tusedam kiht.

Reljeefi muutumist mõjutab tugevalt ka kuivendamise intensiivsus. Mitmetel juhtudel on kuivenduskraav rajatud vaid pindmise turbakihi sügavuseni, kuid Umbusi ning Laukasoo kuivenduskraavid on väga sügavad ning ulatuvad läbi turbalasundi mineraalpinnani (Kull 2013). Tähtsaks teguriks on ka kindlasti aeg, mille jooksul turbakihi tihenemise ja mineraliseerumise protsessid toimuvad, samuti võrreldes Umbusi raba ning Laukasood on näha ajavahemikust ning turbakihi paksusest tulenevaid erinevusi. Käesoleva uurimustöö raames oli oluline see, et ühe turbamaardla piires on kuivenduskraavid rajatud samal ajal. Kuivenduse mõju ei saa olla kogu raba lõikes samasugune 200 aastat või 50 aastat tagasi rajatud kraavi puhul. Tihenemise protsess on küll intensiivsem kuivenduse algperioodil ning aja jooksul tihenemine küll aeglustub, kuid protsess ise enam kunagi täielikult ei peatu.

## 6. Kokkuvõte

Inimesed on aja jooksul hakanud üha rohkem väärtustama looduslike soode ilu ning liigilist mitmekesisust. Sellega seoses pööratakse järjest rohkem tähelepanu soode kaitsmisele ning uurimisele. Aastate jooksul on koostatud mitmeid uuringuid märgalade olukorrast Eestis, eriti on keskendutud kuivendatud ning ammendunud turbaväljade uurimisele ning kasvuhoonegaaside emissioonile.

Käesoleva uurimistöö raames uuriti kolme rabamassiivi – Umbusi raba, Laukasood ning Kaseraba. Kahes esimeses on toimunud kuivendustööd just turbakaevandamistööde alustamiseks ning kaevandusalalt väljapoole jääv ala on kuivenduskraavide poolt mõjutatud. Vastukaaluks kahele kaevandusalaga olevale rabale on uurimusse kaasatud Kaseraba, kuna see turbamaardla on looduslikus seisundis ning kaevandustöid pole siin teostatud.

Kuivenduse mõju on raba pinnaprofiilide abil selgesti nähtav. Ehk LiDAR andmestikust saadud ning Eesti Geoloogiakeskuse poolt tehtud uuringute andmete põhjal arvutatud kõrguspunktidest koostatud pinnaprofiilil on näha erinevatel aegadel mõõdistatud rabapindade erinevus. Kõige rohkem on kuivendamine mõjutanud kraavi lähedal olevat turbakihti.

Kõige selgemini on kuivenduskraavid mõju avaldanud Umbusi raba reljeefile, kus kuni 110 meetri kaugusele kraavist on turvas kokku vajunud 0,02-0,99 meetri võrra. Ka Laukasoo näitel on võimalik näha selgelt turbakihi tihenemist, kuna kuivenduse mõju ulatub kraavist raba keskosa suunas 150 meetrini. Pinnareljeefi muutused sellel profiililõigul jäävad vahemikku 0,03-0,18 m. Kaseraba pinnaprofiili alusel saame väita, et looduslikul turbamaardlal selles ajavahemikus märkimisväärsed muutusi reljeefis ei toimunud. Nii LiDAR kõrgusandmetest kui ka 1999. aastal käsitsi kogutud andmetest on selgelt näha, et rabapinna absoluutne kõrgus on jäänud aja jooksul enamjaolt samasuguseks.

Turbakaevandamiseks vajamineva kuivendussüsteemi rajamine mitte ainult ei mõjuta kaevandusalal oleva turbalasundi hüdroloogilist režiimi, vaid ka kaevandusalalt väljapoole jääva ala oma. Mõju ulatub vähemalt kraavist 100 meetri kauguseni (Umbusi 110 m, Laukasoo 150 m). Kõige tugevamalt mõjutab kuivenduskraav just kraavi lähedal olevat rabalõiku.

Reljeefi muutus sõltub ka kuivenduse intensiivsusest. Mõjutab see, kas rajatud on ühekordne kuivenduskraav või on rajatud kolm paralleelset kraavi. Samuti mõjutab intensiivsust ka kraavi sügavus. Laukasoos ning Umbusi rabas olevad kraavid ulatuvad läbi turbalasundi mineraalpinnani ehk rajatud kraavid on väga sügavad ning kuivendus on väga intensiivne. Tähtsaks teguriks on ka kindlasti aeg, kuna turbakihi tihenemine ning mineraliseerumine Laukasoos ning Umbusi rabas küll aja jooksul aeglustub, kuid protsess ei peatu enne kui kogu turvas on õhku haihtunud.

# **The impact of drainage on peatlands' relief**

Lisete Vals

## **Summary**

Marshes cover more than 20 per cent of Estonia's area, but during the last century their expanse has decreased approximately 2.7 times. Mostly, the cause of this is human activity, and changes in the water regime are carried out knowingly. The reason for drainage is the demand to use the wetlands for agriculture, peat harvesting, or forestry, but when a marsh is already drained out, peat formation stops and it starts to decompose. Peat layers densify and mineralize, which are processes that slow down during time, but which, nevertheless, will not stop before all the peat has volatilized into thin air.

Peat is considered to be one of the most important natural resources of Estonia, but in order to harvest it, a drainage system has to be constructed, and this affects the hydrologic regime of the mires that are outside the harvesting area. Herein, the impact of the drainage ditches on the mirelands outside the harvesting area have been researched using three mires - Kaseraba, Umbusi, and Laukasoo - as examples.

In two of the aforementioned mires - the mire of Umbusi, and Laukasoo - peat is harvested, and drainage systems are used. Kaseraba is added as a counterweight to the two mires affected by human activity, because this peatland is in its natural condition and no peat has been harvested in this area.

The impact of draining has been compared using surface profiles. The data necessary for formulating the profiles was obtained from the reports of research studies by the Estonian Geological Services in the 1990s, as well as from the LiDAR (Light Detection and Ranging) database.

From the formulated surface profiles, the impact of drainage ditches on the profile of the mire is clearly manifested. The heavily affected area extends to at least 100 meters from the ditch to the central part of the mire. The most extensive collapse of the surface peat layer occurs in the immediate proximity of the ditch, where the peat layer densifies, and mineralizes.

From the surface profile of Kaseraba, it is visible that in a mire uninfected by human activity, no significant changes occur in its relief during 10 years. The measurements of the peatland

dimensioned during 1990s, and the elevation data from the LiDAR database are mostly homogeneous.

The change in relief is also dependent on the intensity of drainage, and the time span during which the drainage is in effect. In addition, whether a single drainage ditch or three parallel ones have been constructed affects the mires. Also, the depth of the ditch affects the intensity of the drainage.

## **8. Tänuavaldused**

Soovin südamest tänada oma juhendajat, Marko Kohvi, kannatlikkuse ning asjaliku tagasiside eest. Samuti soovin tänada lähedasi ja sõpru, kes olid suureks toeks töö valmimisel.

## Kasutatud kirjandus

- Allikvee, H., Ilomets, M.,** 1995. Sood ja nende areng. Rmkt: Raukas, A. (koostaja). Eesti: Loodus. Tallinn: Kirjastus „Valgus“ ja Eesti Ensüklopeediakirjastus, lk. 327-347.
- Arold, I.,** 2005. Eesti maastikud. Tartu Ülikooli kirjastus, Tartu.
- Kimmel, K.,** 2009. Ecosystem services of Estonian wetlands. Tartu: Tartu Ülikooli kirjastus.
- Kink, H., Andresma, E., Orru, M.,** 1998. Eesti soode hüdrogeoloogiline. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn.
- Kull, A.,** 2013. Soode ökoloogilise funktsionaalsuse tagamiseks vajalike puhvertsoonide määratlemine pikaajaliste häiringute leviku piiramiseks või leevendamiseks. Aruanne. Tartu Ülikool, Tartu.
- Orru, M., Vösa, A., Jõeveer, T.,** 1999. Pärnu maakonna Koonga valla Kaseraba turbamaardla geoloogilise uuringu aruanne. Tallinn.
- Paal, J., Leibak, E.,** 2011. Estonian Mires: Inventory of Habitats. Regio Ltd, Tartu.
- Paavilainen, E. and Päivänen, J.,** (1995). *Peatland forestry. Ecology and principles.* Springer-Verlag, Berlin.
- Ramst, R., Orru, M.,** 2009. Eesti mahajäetud turbatootmisalade taastaimestumine. Eesti Põlevlooduvarad ja –jäätmekäitlus, 1-2, lk. 6-7.
- Ramst, R., Vösa, A., Lepp, A.,** 1992. Tartu maakonna Laukasoo turbamaardla detailuuringu aruanne. Keila.
- Raukas, A.,** 1995. Eesti: Loodus. Tallinn: Kirjastus „Valgus“ ja Eesti Ensüklopeediakirjastus.
- Rydin, H., Jeglum, J.K.,** 2006. The Biology of Peatlands. Oxford University Press, New York.
- Salm, J.-O.,** 2012. Emission of greenhouse gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O from Estonian transitional fens and ombrotrophic bogs: the impact of different land-use practices. Tartu: Tartu Ülikooli kirjastus.



- Salm, J-O., Maddison, M., Tammik, S., Soosaar, K., Truu, J., Mander, Ü., 2012.**  
Emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from undisturbed, drained and mined peatlands in Estonia. *Hydrobiologia*, 692 (1), lk. 41-55.
- Salo, V., 1990.** Jõgeva rajooni Umbusi turbamaardla kirdeosa detailuuringu aruanne. Keila.
- Triisberg, T., Karofeld, E., Paal, J., 2013.** Factors affecting the re-vegetation of abandoned extracted peatlands in Estonia: a synthesis from field and greenhouse studies. *Estonian Journal of Ecology*. 62 (3), lk. 192-211.
- Valk, U., 1995.** Soode kasutamine ning kaitse. Rmt: Raukas, A. (koostaja). Eesti: Loodus. Tallinn: Kirjastus „Valgus“ ja Eesti Entsüklopeediakirjastus, lk. 354-363.
- Valk, U., 1988.** Eesti sood. Kirjastus „Valgus“, Tallinn.

## **Interneti allikad**

- Kohv, M., Salm, J-O., 2012.** Soode taastamine Eestis. Eesti Loodus.  
(<http://www.eestiloodus.ee/index.php?id=4541>) [25.10.2014]
- Eesti Turbaliit.** Kaevandamine.  
(<http://www.turbaliit.ee/?go=Kaevandamine>) [25.10.2014]
- Ilomets, M., 2003.** Mille arvel kaevandame turvast? Eesti Loodus  
(<http://www.eestiloodus.ee/index.php?artikkel=282>) [14.11.2014]
- Maa-amet, 2015.** Kõrgusandmed.  
<http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Topograafilised-andmed/Korgusandmed-p114.html> [19.05.2015]

## Lisad

**Lisa 1.** Kaseraba maapinnaprofiili kõrguspunktid.

Kaugus (m)	2010. a.	1999. a.
38,50	21,20	21,19
60,00	21,21	21,22
70,00	21,13	21,07
100,00	21,19	21,03
110,00	21,30	21,02
130,00	21,35	21,43
170,00	21,20	21,22
235,50	21,24	21,24
276,00	21,24	21,25
340,00	21,16	21,19
370,00	21,32	21,39

**Lisa 2.** Laukasoo maapinnaprofiili kõrguspunktid.

<b>Kaugus (m)</b>	<b>2010.a .</b>	<b>1992. a.</b>
22,70	56,55	56,53
21,50	56,44	56,47
68,20	57,10	57,38
91,20	57,23	57,29
92,40	57,23	57,30
139,60	57,28	57,38
160,40	57,23	57,23
213,50	57,23	57,26
232,50	57,39	57,40
283,30	57,37	57,31
353,60	57,41	57,36
376,60	57,43	57,41

**Lisa 3.** Umbusi raba maapinnaprofiili kõrguspunktid.

<b>Kaugus (m)</b>	<b>2010. a.</b>	<b>1990. a.</b>
3,70	42,11	43,10
6,20	42,89	43,10
8,50	42,89	43,12
10,90	42,75	43,50
16,30	43,21	43,62
22,00	43,62	43,80
33,50	44,22	44,27
37,50	44,43	44,35
38,50	44,5	44,41
40,40	44,68	44,49
49,70	44,89	44,61
56,60	45,4	45,57
61,50	45,23	45,20
68,70	45,33	45,45
68,80	45,38	45,40
68,90	45,35	45,42
80,80	45,51	45,57
110,50	45,57	45,61
112,90	45,72	45,66
130,00	45,76	45,68
133,80	45,78	45,50
140,50	45,78	45,48
149,20	45,77	45,47
162,50	45,74	45,45
212,00	46,12	45,99
220,00	46,44	45,92
229,80	46,57	45,90
239,30	45,72	45,48
248,40	45,88	45,88
253,60	45,84	45,80
319,60	45,82	45,97
344,00	45,85	45,70
361,10	45,84	46,08

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Lisete Vals,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Kuivenduse mõju soo reljefile“, mille juhendaja on Marko Kohv.

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 24.05.2015